

УДК 517-629.12

В.В. Маницын, А.Н. Соболенко

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

УРАВНЕНИЯ РЕГРЕССИЙ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

Приводятся уравнения регрессий для определения размеров диаметров рамовых шеек коленчатого вала в зависимости от диаметра цилиндрической втулки для среднеоборотных и высокооборотных четырехтактных дизелей и дизелей повышенной оборотности и двухтактных малооборотных дизелей со средним эффективным давлением до 1,0 МПа и отдельно – со средним эффективным давлением свыше 1,0 МПа.

Ключевые слова: диаметр; рамовая шейка; цилиндрическая втулка; дизель; двухтактный; четырехтактный.

V.V. Manyitsyn, A.N. Sobolenko

THE REGRESSION EQUATIONS OF BASIC CHARACTERISTICS OF MARINE DIESEL CRANKSHAFT

Regression equations are given for diameter of crankshaft journals depending on cylinder diameter of middle speed, high speed four stroke engine, engines with increased revolutions and two stroke diesel engines with effective pressure to 1,0 MPa and separately with mean effective pressure higher than 1,0 MPa.

Key words: diameter, crankshaft journal, diesel, four stroke, two stroke.

Коленчатый вал – одна из наиболее дорогостоящих деталей судового дизеля. Стоимость коленчатого вала достигает 30 % стоимости всего дизеля. Коленчатый вал состоит из рамовых, шатунных шеек, щек и выходного фланца. На него действуют силы от давления газов в цилиндрической втулке дизеля, силы инерции поступательно-движущихся и вращающихся масс. Эти силы вызывают значительные знакопеременные скручивающие и изгибающие моменты. Периодически изменяющиеся вращающиеся моменты вызывают, кроме того, крутильные колебания, которые при определенных условиях (например, при резонансе) могут привести к значительным дополнительным напряжениям и вызвать поломку коленчатого вала.

Сложная конфигурация коленчатого вала приводит к появлению концентраций напряжений в отдельных местах вала, например, в галтелях, в масляных канавках для смазки рамовых подшипников.

В эксплуатации иногда происходят поломки коленчатых валов как у двухтактных, так и четырехтактных дизелей.

Примером служит разрушение коленчатого вала главного дизеля 18ДПН23/х30 на т/х «Алагез» (рис. 1) [1].

Проведенным расследованием установлено, что причинами аварии были дефекты на шейках коленчатых валов, которые возникли вследствие наличия механических примесей в циркуляционном масле.

Второй пример – повреждения коленчатых валов главных двигателей 6ЧН40/46 на судах проекта 1288 в виде трещин на опорных поверхностях для крепления противовесов происходили на нескольких судах («Полукс», «Н. Чепик», «Капитан Колесников», «Капитан Масловец») [1]. Трещины имели усталостный характер и проявлялись после достаточно длитель-

ной работы дизелей (более 100 тыс. ч). Во всех случаях трещины образовывались на опорных поверхностях крепления противовесов, что вызывало скол металла (рис. 2). Развитие трещин во внутрь щек не наблюдалось.



Рис. 1. Излом левого нижнего коленчатого вала

Fig. 1. The fracture of left bottom crankshaft
Примечание. На поверхности излома доля усталостной составляющей 45 %. Действующие напряжения на момент разрушения не менее $0,55 \sigma_{0.2}$. Излом многоочаговый, зарождение – от продольных трещин на шейке, переходящих на галтель.



Рис. 2. Расположение трещины на носовой щеке 1-го колена (границы трещины выделены маркером)
Fig. 2. The location of crack on the 1st crankshaft web

Причина повреждения коленчатых валов конструктивная, поскольку излишне завышен момент затягивания болтов крепления противовесов, что вызывает повышенные контактные давления в контактных поверхностях, их перераспределение из-за деформаций захватов противовесов и сколов кромок выступов на щеках коленвала.

Это свидетельствует, что проблема надежности коленчатых валов в эксплуатации до настоящего времени полностью не решена. Важным аспектом решения проблемы является правильный выбор конструктивных размеров коленчатого вала.

От диаметра цилиндрической втулки зависит диаметр рамовой и шатунной шеек коленчатого вала. Это позволяет предположить наличие связи между ними, так как с изменением диаметра цилиндрической втулки изменяются и конструктивные характеристики коленчатого вала, которые приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

**Характеристики четырехтактных среднеоборотных дизелей
и дизелей повышенной оборотности**

Table 1

**Characteristics of four-stroke middle speed diesels
and diesels with revolutions elevated**

Марка дизеля	Диаметр цилинд- ровой втулки, мм	Частота вра- щения, мин ⁻¹	Диаметр рамо- вой шейки, мм	Диаметр шатун- ной шейки, мм
8ЧРН32/48(NVD48A2U)	320	375	215	215
6ЧН36/45	360	375	235	230
ЧН22/32(ВАН-22)	220	500	155	145
6ДН24/34	240	500	230	180
ЧН25/30(AL25/30)	250	500	170	170
12ЧН40/46(РС2-V)	400	500	315	315
6ЧН40/46(РС2)	400	520	288	288
ЧН30/38	300	715	280	220
Ч17,5/24(NVD24)	175	750	105	105
6ЧНС18/22 (150 – 225 л.с.)	180	750	135	120
6ЧНСП18/22 (315 л.с.)	180	750	150	135
ЧН31,8/33(Д50)	318	750	240	210
6ЧН32/35(VassaR32)	320	750	300	270
Ч26/26	260	860	220	200
6Ч23/30	230	750	160	155
ЧН20/26(VD26/20AL-2)	200	1000	177,5	147,5
4Ч10,5/13	105	1500	80	75
6ЧН12/14	120	1500	85	75
6Ч15/18	150	1500	95	85
12ЧН18/20	180	1500	105	96
YANMAR SM/6GH-UTE/6GHA(M)-STE	118	2250	92	75

Таблица 2

Характеристики малооборотных дизелей

Table 2

Characteristics of low speed diesels

Марка дизеля	Диаметр цилинд- ровой втулки, мм	Частота враще- ния, мин ⁻¹	Диаметр рамовой шейки, мм	Диаметр шатунной шейки, мм
8ДР43/61	430	250	275	275
ДКРН60/105Е	600	165	450	450
ДКРН68/125	680	150	510	510
ДКРН50/110	500	170	365	365
ДКРН62/140	620	135	520	520
ДКРН70/120С	700	130	480	480
ДКРН74/160	740	115	620	620
8ZD72/48AL-1	480	214	345	345
ДКРН 45/120	450	170	440	460
ДКРН 67/140-4	670	145	630	600
ДКРН 67/140-7	670	150	630	630

Цель работы – найти форму связи между диаметром рамовой шейки и диаметром цилиндрической втулки для получения уравнения регрессии и этим упростить работу конструкторов и проектировщиков.

В известной литературе [2] на основании выполненных конструкций дизелей приводятся весьма приблизительные соотношения для выбора их основных конструктивных характеристик. Однако расчет на основании приведенных в работе [2] соотношений дает существенный разброс.

Например, для дизеля с диаметром цилиндров 620 мм диаметр рамовых шеек может быть в диапазоне 372 ÷ 496 мм. То есть разброс может достигать 33 % от среднего значения.

В данной работе рассматривались двухтактные дизели с диаметрами цилиндра $D_{ц} = 350 ÷ 740$ мм и четырехтактные – с диаметрами цилиндра от 105 до 400 мм.

Типоразмерный ряд конструктивных характеристик судовых дизелей (табл. 1, 2) позволил получить расчетные формулы.

Для повышения точности аппроксимирующих формул исследуемые дизели были разбиты на следующие четыре группы:

- двухтактные малооборотные дизели с нормальным ходом поршня ($S / D < 2,5$) и p_e менее 1,0 МПа;
- двухтактные малооборотные дизели с нормальным ходом поршня ($S / D < 2,5$) и p_e от 1,0 МПа до 1,7 МПа;
- четырехтактные среднеоборотные дизели и дизели повышенной оборотности с p_e менее 1,0 МПа;
- четырехтактные среднеоборотные дизели и дизели повышенной оборотности с p_e от 1,0 МПа до 1,7 МПа.

В результате регрессионного анализа были получены следующие формулы:

- для двухтактных малооборотных дизелей с нормальным ходом поршня и p_e от 1,0 МПа до 1,7 МПа

$$d_{p.ш} = 0,864D_{ц} + 51,36; \quad (1)$$

- для двухтактных малооборотных дизелей с нормальным ходом поршня и p_e менее 1,0 МПа

$$d_{p.ш} = 0,946D_{ц} - 116,9; \quad (2)$$

- для четырехтактных среднеоборотных дизелей и дизелей повышенной оборотности с p_e от 1,0 МПа до 1,7 МПа

$$d_{p.ш} = 0,567D_{ц} + 76,25; \quad (3)$$

- для четырехтактных среднеоборотных дизелей и дизелей повышенной оборотности с p_e менее 1,0 МПа

$$d_{p.ш} = 0,62D_{ц} + 12,5. \quad (4)$$

Значения коэффициентов корреляции для формулы (1) – $R^2 = 1,0$, для формулы (2) – $R^2 = 0,884$, для формулы (3) – $R^2 = 0,871$, для формулы (4) – $R^2 = 0,953$.

Величина коэффициента корреляции показывает наличие сильной линейной зависимости диаметра рамовой шейки от диаметра цилиндрической втулки.

На рис. 3 и 4 приведены полученные графические зависимости и реальные точки диаметров рамовых шеек коленчатого вала судовых дизелей.

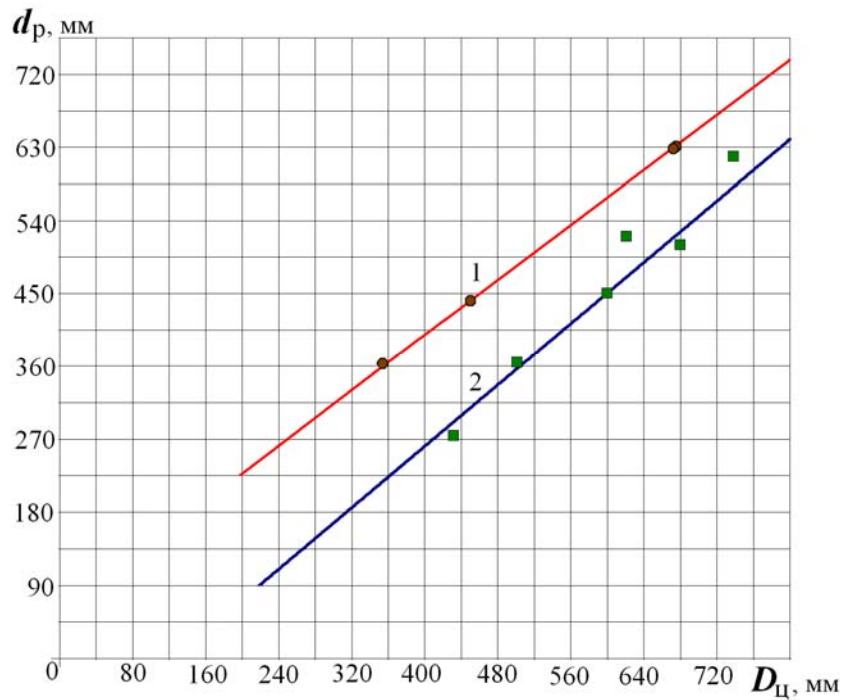


Рис. 3. Зависимости диаметра рамовой шейки d_p от диаметра цилиндровой втулки $D_{ц}$ для судовых двухтактных дизелей: 1 – дизели с p_e от 1,0 до 1,7 МПа; 2 – дизели с p_e до 1,0 МПа

Fig. 3. Plots d_p from $D_{ц}$ for marine two-stroke diesels:

1 – diesels with p_e more than 1,0 up to 1,7 MPa; 2 – diesels with p_e less than 1,0 MPa

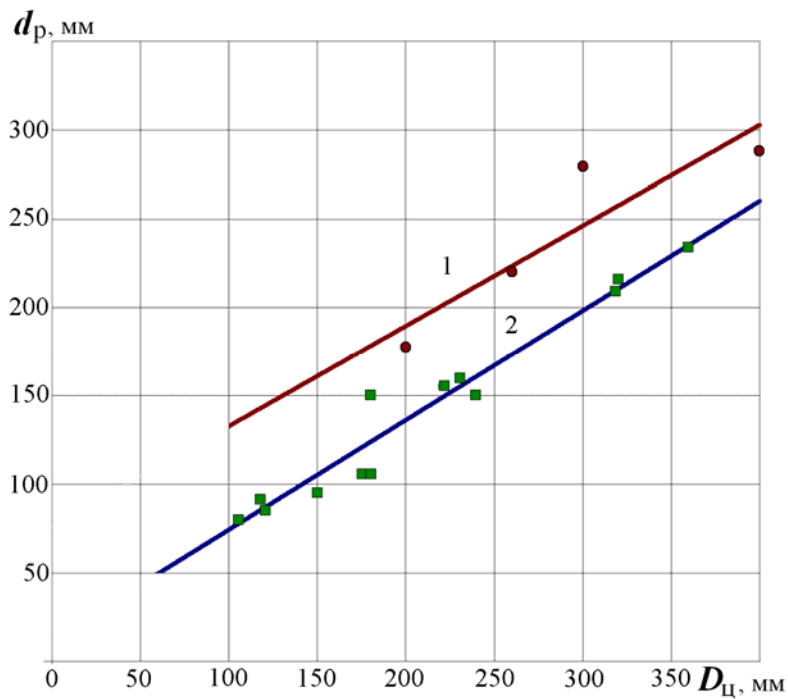


Рис. 4. Зависимости диаметра рамовой шейки d_p от диаметра цилиндровой втулки $D_{ц}$ четырехтактных дизелей: 1 – дизели с p_e от 1,0 до 1,7 МПа; 2 – дизели с p_e до 1,0 МПа

Fig. 4. Plots d_p from $D_{ц}$ for four-stroke diesels:

1 – diesels with p_e more than 1,0 up to 1,7 MPa; 2 – diesels with p_e less than 1,0 MPa

Расхождение эмпирических размеров от теоретических по регрессионным зависимостям (1), (2) и (3) не превышает 10 %.

Что касается шатунных шеек, то для двухтактных малооборотных дизелей они, как правило, равны рамовым шейкам.

Для четырехтактных дизелей шатунные шейки также принимают равными рамовым, иногда для высокооборотных дизелей их принимают на 5–10 % меньше рамовых с целью снижения сил инерции неуравновешенных вращающихся масс.

Таким образом, полученные регрессионные формулы могут быть использованы в конструкторских бюро на этапе эскизного проектирования при выборе размеров шеек коленчатого вала, при проектировании судовых дизелей, а также студентами и курсантами в дипломном и курсовом проектировании.

Список литературы

1. Струтынский, А.В. Повреждения и отказы судовых технических средств / А.В. Струтынский, С.А. Худяков. – Владивосток: Изд-во МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2013. – 170 с.
2. Ваншейдт, В.А. Конструирование и расчет прочности судовых дизелей / В.А. Ваншейдт. – Л.: Судостроение, 1969. – 639 с.

Сведения об авторах: Маницын Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: manyitsynv@mail.ru;
Соболенко Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: sobolenko_a@mail.ru.